مقدمـة

يعدّ علم الميكانيك الهندسي من العلوم الفيزيائية ويبحث في حركة الأجسام الواقعة تحت تأثير جملة قوى خارجية (يعتبر السكون حالاً خاصة من حالات الحركة) . حيث تؤثر جملة قوى خارجية في جسم معين فإن هذه القوى تؤدي لحدوث أحد أمرين : الأول هو أن تقوم هذه القوى بإكساب الجسم تسارعاً في حركته وفق اتجاه معين ، أي أن هذه القوى تعمل على تغيير الحالة الحركية للجسم . أما الأمر الثاني فهو أن يؤدي تطبيق هذه القوى إلى توليد قوى مقاومة للجسم تعرف باسم ردود الفعل .

إذا لم يؤد تطبيق القوى الخارجية على جسم معين إلى أي تغيير في حاله الحركية ، كأن يكون الجسم ساكناً بعد تطبيق هذه القوى أو أن يكون متحركاً بسرعة مستقيمة منتظمة ويبقى كذلك ، فإن علم الميكانيك الذي يبحث في مثل تلك الحالات يدعى بالستاتيك (أو علم السكون) Statics . وعلم الستاتيك هو أحد ثلاثة فروع لعلم الميكانيك ، والفرعان الآخران هما علم الحركة Kinematies وعلم التحريك Dynamics ، ويبحث علم الحركة في حركة الأجسام الواقعة تحت تأثير جملة قوى خارجية ، كتحديد اتجاه الحركة ومسار الجسم ، دون اعتبار لدراسة القوى التي أدت إلى تلك الحركة . أما علم التحريك فيأخذ بعين الاعتبار هذه القوى – ويعدّ علم التحريك أهم الفروع الثلاثة وأكثرها تطبيقاً في الحياة العملية ، إلا أنه لعلم الستاتيك أهمية للمهندس كأساس لبحث الإنشاء الهندسي .

إن علم الميكانيك يعالج حركة الأجسام الواقعة تحت تأثير جملة قوى خارجية ، والمقصود بكلمة " الأجسام " هنا جميع الأجسام الموجودة في الطبيعة سواء كانت صلبة (Rigids) أم مائعة (F1uids) .

الباب الأول
مجموعة القوى المستوية

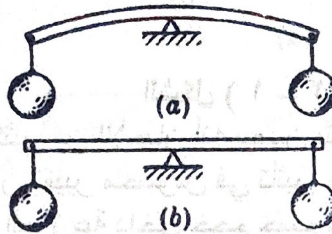
١ – ١ : مبادئ علم السكون :

يبحث علم السكون في شروط توازن الأجسام التي تؤثر فيها القوى .

الجسم الصلد :

سيكون اهتمامنا الرئيسي في هذا الكتاب منصباً على المسائل المتعلقة بتوازن الأجسام الصلدة .

فالأجسام الفيزيائية التي تدخل في تصاميم الإنشاءات الهندسية وأقسام الآلات ليست أجساماً صلدة بالمعنى المطلق لهذه الكلمة ، فهي تتشوه قليلاً بتأثير الاحمال التي تحملها .مثلاً الرافعة المبينة في الشكل ((١ – ١)a) والتي طبق على نهايتها ثقلان متساويان . فقضيب هذه الرافعة ينحني قليلاً فوق نقطة الاستناد بفعل هذين الثقلين .



الشكل (١-١)

وعند البحث في توازن الرافعة (الثقلان المتساويان الواقعان على بعد واحد من نقطة الاستناد هما بحالة التوازن) يجوز لنا أن نهمل هذا التشوه فنعد الرافعة جسماً صلداً محافظاً على استقامته كما في الشكل ((١ - ١)b) .

القـوة :

يمكننا تعريف القوة بأنها أي تأثير يسعى إلى أن يغير حالة السكون في الجسم الذي تطبق عليه .

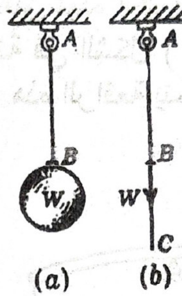
وهناك أنواع كثيرة من القوى كقوة الثقالة الأرضية وقوة الدفع أو السحب .

وهنالك ضغط البخار أو الغاز على أسطوانة وضغط الرياح والضغط الجوي والمقاومة الناشئة من الاحتكاك بين السطوح المتلاصقة .

ولتعيين قوة ما تعييناً كاملاً لابد لنا من معرفة :

(١) مقدارها .
(٢) نقطة تطبيقها.

(٣) اتجاهها .
وتسمى هذه العناصر الثلاثة التي تعين القوة تعييناً كاملاً بمواصفات القوة .
ونقطة تطبيق قوة مؤثرة في جسم ما هي نقطة من ذلك الجسم نفترض أن القوة مركزة فيها .
غير أنه يستحيل فيزيائياً أن تتركز قوة ما في نقطة وحيدة ولابد لها من سطح منته (محدود) تتوزع عليه أو حجم منته تتوزع فيه .
فالقوة W مثلاً المبينة في الشكل (١ – ٢) والتي تؤثر بها الكرة في الحبل هي في الواقع موزعة على سطح صغير هو مقطع الحبل ، وكذلك فإن القوة التي تؤثر بها الثقالة في الكرة هي في الواقع موزعة في حجم الكرة .



الشكل (١ – ٢)

إلا أننا نجد في كثير من الأحيان أنه يحسن بنا أن نعتبر مثل هذه القوة مركزة في نقطة وحيدة ، دون تغيير محسوس في تأثير هذه القوة في شروط التوازن .
وفي حال قوة الثقالة الموزعة داخل حجم جسم ما نسمي النقطة التي نفترض أن مجموع الثقل مركز فيها بمركز ثقل الجسم .
أما اتجاه قوة ما فهو الاتجاه المعين على المستقيم الذي يمر من نقطة تطبيق هذه القوة والذي تسعى القوة إلى أن تحرك عليه الجسم الذي تؤثر فيه ، ويسمى هذا المستقيم حامل القوة .
فقوة الثقالة مثلاً تتجه دائماً اتجاهاً شاقولياً نحو الأسفل وفي حالة القوة التي يؤثر بها حبل لين في جسم ما ، يعين الحبل حامل هذه القوة .
فالحبل A B في الشكل (١ – ٢) يشد الخطاف A شاقولياً نحو الأسفل .
وإن أي كمية ذات مقدار واتجاه كالقوة مثلاً تسمى كمية شعاعية ويمكن تمثيلها تخطيطياً بقطعة مستقيمة تسمى شعاعاً .
ففي الشكل ((١ – ٢) b) مثلاً يمكننا أن نمثل القوة التي تؤثر بها الكرة في الحبل بالقطعة المستقيمة BC التي يمثل طولها مقدار القوة بمقياس ما ، أما الاتجاه الشاقولي نحو الأسفل الموضح بالسهم فهو يمثل اتجاه القوة .
وتسمى النقطة B مبدأ الشعاع والنقطة C نهاية الشعاع ، وأن أي نقطة من هاتين النقطتين يمكن اعتبارها نقطة تطبيق القوة .

وإذا ماكانت B و C هما مبدأ الشعاع ونهايته أمكننا أن نرمز له بالرمز $\overrightarrow{BC}$ الذي يعين اتجاهه تعييناً تاماً من B إلى C .

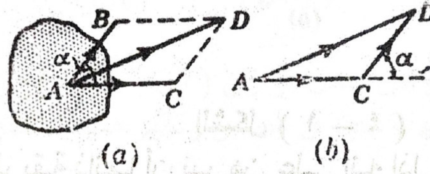
١ – ٢ : قوانين علم السكون :

عندما تؤثر عدة قوى ذات مقادير واتجاهات مختلفة في جسم ما يقال أنها تؤلف جملة من القوى .

والمسألة الرئيسية لعلم السكون هي إيجاد الشروط التي يجب أن تحققها هذه الجملة كي يكون الجسم في حالة التوازن .

وتستند مختلف طرق حل هذه المسألة إلى عدة بديهيات تسمى مبادئ علم السكون .

١ – **قانون متوازي الأضلاع** : إذا أثرت في النقطة A من جسم ما قوتان ممثلتان بشعاعين AB و AC يحصران زاوية α ، فإن تتأثيرهما يكافئ فعل قوة واحدة ممثلة بالشعاع AD الذي هو قطر متوازي الأضلاع المنشأ على الشعاعين $\overrightarrow{AB}$ و $\overrightarrow{AC}$ والموجه كما في الشكل (١ - ٣) .



الشكل (١ – ٣)

وتسمى القوة $\overrightarrow{AD}$ بحاصلة القوتين $\overrightarrow{AB}$ و $\overrightarrow{AC}$ ، وتسمى القوتان $\overrightarrow{AB}$ و $\overrightarrow{AC}$ بمركبتي القوة $\overrightarrow{AD}$

وبذلك تكون الحاصلة مكافئة لمركبتيها وبالعكس .

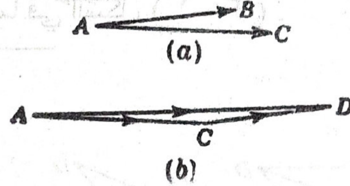
ويمكن الحصول على هذه الحاصلة برسم المثلث ACD كما في الشكل ((١ – ٣) b)بدلاً من رسم متوازي أضلاع القوى ، وذلك بأن نرسم من نهاية الشعاع $\overrightarrow{AC}$ الشعاع $\overrightarrow{CD}$ الذي يساوي الشعاع AB ويوازيه فيكون $\overrightarrow{AD}$ الضلع الثالث للمثلث ، مساوياً حاصلة الشعاعين التي هي موجهة من A بداية الشعاع الأول نحو D نهاية الشعاع الثاني .

يسمى الشعاع $\overrightarrow{AD}$ الذي حصلنا عليه بهذه الطريقة المجموع الهندسي للشعاعين $\overrightarrow{AC}$ و $\overrightarrow{CD}$.

وهكذا نرى أنه يمكن الحصول على مقدار حاصلة قوتين مطبقتين في النقطة A من جسم ما وعلى اتجاهها كمجموع هندسي للشعاعين الممثلين لهاتين القوتين . أما نقطة تطبيق هذه الحاصلة فهي طبعاً النقطة A نفسها .

ولما كانت الأشعة المبينة في الشكل ((١ – ٣) b) لا تعين نقاط تطبيق هذه القوى فإننا ندعوها بالأشعة الطليقة وندعو المثلث ACD بمثلث القوى .

ونلاحظ أنه إذا كانت الزاوية بين الشعاعين $\overrightarrow{AB}$ و $\overrightarrow{AC}$ صغيرة جداً (الشكل (١ – ٤) a) فإن مثلث القوى ACD (الشكل (١-٤) b) يصبح ضيقاً جداً ونستنتج من ذلك أنه في الحالة الحدية عندما تكون القوتان محمولتين على مستقيم واحد وموجهتين باتجاه واحد حاصلتهما تكون مساوية مجموعهما وتكون محمولة على حاملهما وموجهة باتجاههما ذاته .



الشكل (١ – ٤)

ويمكننا بالطريقة ذاتها أن نبرهن على أنه إذا كانت القوتان محمولتين على مستقيم واحد وموجهتين باتجاهين متعاكسين فإن حاصلتهما تكون مساوية الفرق بينهما ويكون اتجاهها هو اتجاه القوة الكبرى .

وإذا اعتبرنا أحد الاتجاهين على حامل القوتين موجباً والآخر سالباً ، ونكون بذلك قد اعتبرنا إحدى القوتين موجبة والأخرى سالبة ، استنتجنا أن حاصلة أي قوتين متحدتين في الحامل هو المجموع الجبري لهما .

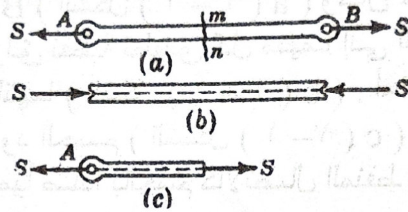
نستنتج من مبدأ متوازي أضلاع القوى أنه يمكننا دائماً أن نستبدل بأية قوتين مطبقتين في نقطة واحدة حاصلتهما وهي تكافئهما .

وينتج من ذلك أنه لا يمكن لقوتين متلاقيتين في نقطة واحدة أن تكونا في حال توازن ما لم تكن حاصلتهما مساوية للصفر أوبتعبير آخرإذا توازنت ثلاث قوى غير متوازية وواقعة في مستو واحد فإن خطوط تأثيرها تلتقي في نقطة واحدة .

ويمكننا أن نستنتج مما سبق أن هذه الحالة إنما تقع عندما تكون القوتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه ومتحدتين في الحامل .

ويمكننا تعميم هذه النتيجة للوصول إلى المبدأ الثاني من علم السكون وهو :

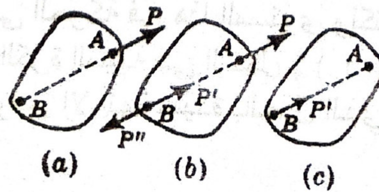
٢ ـ قانون التوازن : لا يمكن لقوتين أن تكونا في حال التوازن ما لم تكونا متساويتين في المقدار ومتحدتين في الحامل ومتعاكستين في الاتجاه .
كما في الشكل (١ ـ ٥) فإذا أهملنا وزن القضيب ، رأينا أنه لا يمكن لأي قضيب من القضيبين المبينين في الشكل أن يكون في حال التوازن إلا إذا كانت القوتان المؤثرتان فيه متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه ومتحدتين في الحامل فإذا كانت هاتان القوتان المحوريتان موجهتين كما في الشكل ((١ ـ ٥) a) قلنا بأن القضيب بحال شد وإذا كانتا موجهتين كما في الشكل ((١ ـ ٥) b) قلنا بأن القضيب بحال ضغط .



الشكل (١ ـ ٥)

وعندما تكون لدينا قوتان بحال توازن (أي متساويتان ومتعاكستان ومتحدتان في الحامل) فإن حاصلتهما تساوي الصفر وتأثيرهما المشترك في أي جسم صلد معدوم . .

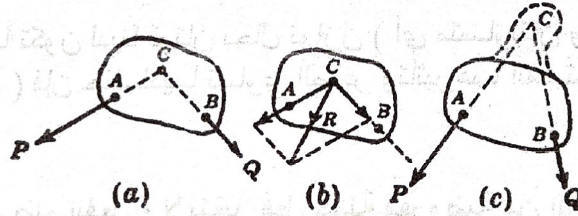
٣ ـ قانون ضم الفعل : لا يتغير فعل جملة مفروضة من القوى في جسم صلد إذا أضفنا لهذه الجملة أو طرحنا منها جملة أخرى متوازنة .
ليكن لدينا الجسم الصلد AB الذي تؤثر في النقطة A منه القوة P المحمولة على AB كما في الشكل ((١ ـ ٦) a) . فإذا طبقنا في النقطة B من هذا الجسم قوتين متعاكستين في الاتجاه كل منهما تساوي P وتتحد معها في الحامل استنتجنا من قانون ضم الفعل أنه لا يطرأ أي تغيير على فعل القوة P في هذا الجسم ، أي أن فعل القوى الثلاث المبينة في الشكل ((١ ـ ٦) b) في الجسم لا يختلف عن فعل القوة الوحيدة P المبينة في الشكل ((١ ـ ٦) a) .



الشكل (١ – ٦)

وبالمحاكمة نفسها يمكننا أن نحذف من جملة القوى المبينة في الشكل ((١ – ٦) b) القوتين P و "P المتساويتين والمتعاكستين والمتحدتين في الحامل ، باعتبارهما تؤلفان جملة بحال التوازن ، فنحصل على الشروط المبينة في الشكل ((١ – ٦) c) حيث نجد أننا استبدلنا بالقوة الأصلية P المطبقة في النقطة A قوة جديدة \`P مساوية لها ومطبقة في النقطة B . وبذلك نكون قد برهنا على أن نقطة تطبيق قوة ما يمكن أن تنزلق على حاملها دون أن يطرأ أي تغيير على تأثيرها في الجسم الصلد المطبقة عليه . وتعرف هذه النتيجة **بنظرية انزلاقية القوة .**

ونستنتج من نظرية انزلاقية القوة أنه إذا كانت لدينا القوتان P و Q المطبقتان في النقطتين A و B (الشكل (١ – ٧) a) وكان حاملاهما متلاقيين في النقطة C فإننا نستطيع زلق نقطة تطبيق كل منهما إلى النقطة C ومن ثم نستطيع أن نستبدل بهما حاصلتهما (الشكل (١ – ٧) b) . أما إذا كانت نقطة تلاقي القوتين واقعة خارج حدود الجسم (الشكل (١ –٧) c) فإننا نفرض أن هذه النقطة متصلة اتصالاً وهمياً صلداً بالجسم كالاتصال المنقط المبين في الشكل ((١ – ٧) c) .

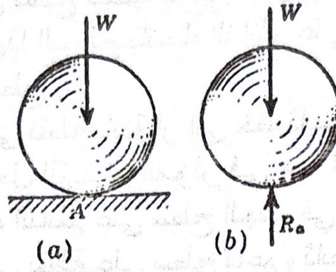


الشكل (١ – ٧)

٤- قانون الفعل ورد الفعل : إن كل قوة تؤثر في مسند ما تولد فيه قوة مساوية القوة المؤثرة ومعاكسة لها فيكون الفعل ورد الفعل أبداً قوتين متساويتين ومتعاكستين .

كثيراً ما نبحث في شروط توازن أجسام ليست لها الحرية الكاملة في الحركة فندعو عندئذ كل مانع لحركتها في اتجاه ما بالقيد .

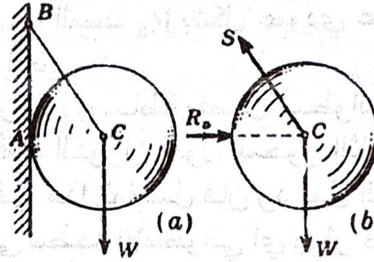
ففي (الشكل (١ – ٨) a) مثلاً كرة تستند إلى مستو أفقي استناداً تكون فيه طليقة قادرة على الحركة في هذا المستوي ولكنها لاتستطيع الحركة الشاقولية نحو الأسفل وكذلك الكرة المبينة في الشكل ((١ – ٢) a) فبالرغم من أنها تستطيع الارتجاح كالنواس إلا أنها مقيدة بالحبل الذي يمنعها من الحركة الشاقولية نحو الأسفل .



الشكل (١-٨)

وفي الشكل ((١ – ٩) a) أيضاً كرة وزنها W وهي محمولة بالحبل BC ومستندة في النقطة A إلى جدار شاقولي صقيل ونلاحظ في هذا الشكل أن هذه القيود تمنع كل حركة للكرة في مستوي الشكل .

وهناك أنواع كثيرة من القيود ممثلة بالشكل (١ – ١٠) .



الشكل (١ – ٩)

فإذا أثرت قوة ما أو عدة قوى في جسم غير طليق طلاقة تامة فإن هذا الجسم يضغط بوجه عام على مسانده .

فالكرة المبينة في الشكل ((١ – ٢) b) مثلاً تؤثر في نهاية الحبل الحامل لها بقوة شد متجهة نحو الأسفل كما في الشكل ((١ - ٢) b) وكذلك تؤثر الكرة المبينة في الشكل ((١ – ٨) a) في سطح المستوي الحامل لها وفي النقطة A منه ، بقوة دفع شاقولية .

أما الكرة المبينة في الشكل ((١ – ٩) a) فإنها لاتكتفي بشد الحبل BC إلى الأسفل فقط بل إنها تدفع الجدار أيضاً في النقطة A نحو الجهة اليسرى .

ونرى في هذه الحالات كلها أن فعل الجسم المقيد في مسانده يولد في هذه المساند ردود فعل في الجسم نفسه .

ونبين فيما يلي أهم أنواع المساند المبينة بالشكل (١ – ١٠) :